

В. И. Богорад, Т. В. Литвинская,  
А. Ю. Слепченко, А. В. Носовский

Государственный научно-технический центр по ядерной  
и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

## Обоснование размеров зоны наблюдения АЭС

Дан анализ предпосылок к необходимости проведения расчетов зоны наблюдения, показана актуальность разработки методической базы для таких расчетов. На основе общих закономерностей распространения радиоактивного выброса в окружающей среде предложен подход к обоснованию размеров зоны наблюдения АЭС, согласованный с требованиями таких нормативных документов Украины, как «Вимоги щодо визначення розмірів і меж зони спостереження АЕС» (НП 306.2.173–2011) и «Загальні положення безпеки атомних станцій» (НП 306.2.141 2008).

Ключевые слова: зона наблюдения, АЭС, запроектная авария, фактор метеорологического разбавления, радиоактивный выброс.

В. І. Богорад, Т. В. Литвинська, О. Ю. Слепченко,  
А. В. Носовський

### Обгрунтування розмірів зони спостереження АЕС

Наведено аналіз передумов до необхідності проведення розрахунків зони спостереження, показано актуальність розробки методичної бази для таких розрахунків. На основі загальних закономірностей поширення радіоактивного викиду в навколишньому середовищі запропоновано підхід до обгрунтування розмірів зони спостереження АЕС, узгоджений з вимогами таких нормативних документів України, як «Вимоги щодо визначення розмірів і меж зони спостереження АЕС» (НП 306.2.173–2011) і «Загальні положення безпеки атомних станцій» (НП 306.2.141 2008).

Ключові слова: зона спостереження, АЕС, запроектна аварія, фактор метеорологічного розбавлення, радіоактивний викид.

© В. И. Богорад, Т. В. Литвинская, А. Ю. Слепченко, А. В. Носовский,  
2013

В действующих нормативных документах Украины зона наблюдения определяется как территория вокруг АЭС, на которой должен вестись радиационный контроль. Требования к установлению размеров зоны наблюдения АЭС появились уже в первых нормативных документах СССР, регламентирующих безопасность АЭС. Звучали эти требования следующим образом [1]:

«Для каждой АЭС должна предусматриваться организация санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения. Размеры этих зон должны определяться с учетом полной мощности блоков АЭС, а также с учетом прогностических оценок радиационной обстановки в районе размещения АЭС при ее длительной эксплуатации...»

Размеры санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения для каждой АЭС устанавливаются индивидуально по согласованию с органами Госсаннадзора СССР с учетом требований СН 245–71 и утверждаются местными советскими органами».

Если для определения размеров санитарно-защитной зоны устанавливались численные критерии, ограничивающие облучение населения при нормальной работе АЭС и в случае максимальной проектной аварии, то для зоны наблюдения до недавнего времени такие критерии отсутствовали. Правда, тем же документом [1] требовалось измерение мощности дозы на расстоянии 25–30 км от АЭС, что по смыслу, который вкладывается в слова «зона наблюдения» (т. е. зона, в которой осуществляется радиационный контроль), можно расценивать как требование к ее размерам. Другими словами, размеры зоны наблюдения должны были составлять минимум 25–30 км. И действительно, для всех АЭС устанавливались размеры зоны наблюдения 30 км.

Отметим, что такое юридическое понятие, как зона наблюдения, существует только для АЭС, построенных и строящихся на постсоветском пространстве. В зарубежной практике прямого аналога зоны наблюдения нет.

В новых нормативных документах Российской Федерации уже появились требования к размерам зоны наблюдения исходя из численных критериев: размеры зоны наблюдения должны определяться для нормальных условий эксплуатации из условия статистической значимости измерений параметров радиационной обстановки, обуславливаемой природной составляющей и проектными параметрами радиоактивных выбросов. Основываясь на таком подходе, 30-километровая зона наблюдения приблизительно удовлетворяет условию, согласно которому мощность дозы, обусловленная допустимым выбросом с АЭС, за границей зоны наблюдения будет составлять не более 10 % стандартного отклонения природного фона (на уровне 0,01 мкЗв/ч). Данный подход отвечает смысловой нагрузке самого понятия зоны наблюдения и, скорее всего, является оптимальным с точки зрения проведения рутинного мониторинга окружающей АЭС среды.

На сегодняшний день в Украине, после вступления в 2012 году в силу нормативного документа «Вимоги щодо визначення розмірів і меж зони спостереження АЕС» (далее — НП) [2], появился еще один подход к регулированию безопасности путем установления зоны наблюдения. Этим документом акценты в определении зоны наблюдения смещаются с нормальной эксплуатации энергоблоков АЭС на случаи запроектных аварий: контроль за параметрами окружающей среды необходим на той территории вокруг АЭС, которая в случае запроектной аварии может подвергнуться радиационному воздействию, требующему

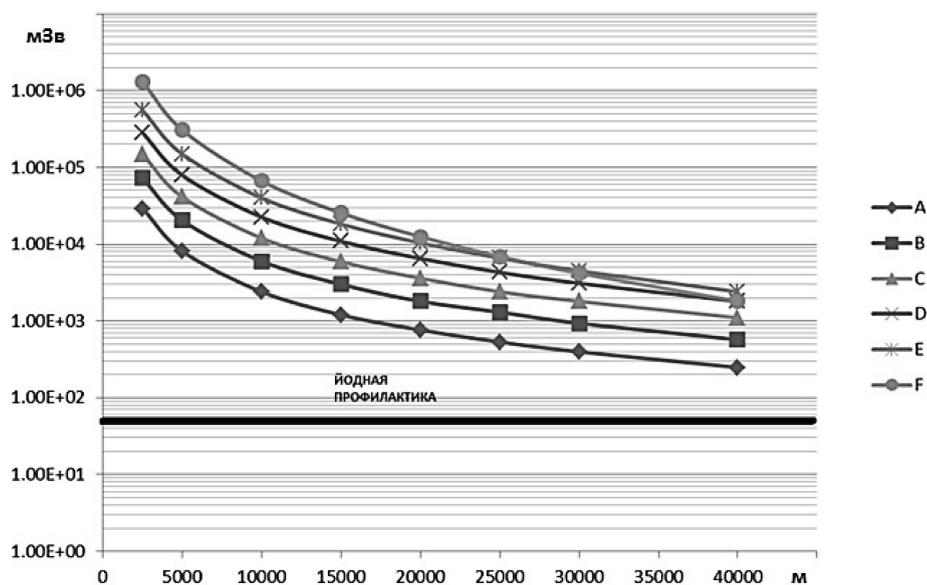


Рис. 1. Зависимость дозы облучения щитовидной железы населения на различных расстояниях от источника выброса для различных категорий устойчивости атмосферы при аварии с отсутствием изоляции аварийного парогенератора (А — F — категории устойчивости атмосферы по Паскуилу)

проведения таких неотложных контрмер, как эвакуация и йодная профилактика.

Естественно, что для реализации требований НП в первую очередь необходим перечень запроектных аварий, для которых будут рассчитываться радиационные последствия с целью определения расстояний до аварийного энергоблока, исключающих необходимость эвакуации и йодной профилактики. При этом в документе недостаточно четко обозначен перечень аварий, для которых должны выполняться данные условия. Если руководствоваться выбором самого консервативного варианта радиоактивного выброса (а именно такой вариант в документе не исключен из рассмотрения), то полученные результаты будут неприменимыми на практике, так как поддержание статуса зоны наблюдения потребует неоправданных с точки зрения анализа «польза — вред» затрат из-за нереально больших ее размеров.

На рис. 1 для одной из АЭС Украины приведены результаты оценки радиационных последствий запроектной аварии при отсутствии изоляции аварийного парогенератора. Согласно критерию, заложенному в НП, такая авария может происходить с частотой более  $10^{-7}$  1/год. Из рис. 1 видно, что для аварий данного типа размеры зоны наблюдения существенно превысят не только 30, но и 100 км.

Ситуация с определением (обоснованием) размеров зоны наблюдения коренным образом меняется, если в основу расчетов положить риск-ориентированный подход, который задекларирован в «Общих положениях безопасности атомных станций Украины» как один из основных принципов безопасности: «АС соответствует требованиям безопасности, если в результате принятых в проекте технических и организационных мер достигается базовая цель безопасности». В контексте обсуждаемой проблемы критериями безопасности, выдвигаемыми этим документом, являются:

для действующих энергоблоков — непревышение частотой предельного выброса значения  $10^{-5}$ , при этом нужно стремиться к  $10^{-6}$  1/год;

для строящихся энергоблоков — непревышение частотой предельного выброса значения  $10^{-6}$ , при этом нужно стремиться к  $10^{-7}$  1/год.

Сам предельный выброс определяется [3] как выброс, при котором создаются условия для эвакуации населения на границе санитарно-защитной зоны и за ее пределами.

Таким образом, для определения (обоснования) размеров зоны наблюдения (при условии, что АЭС соответствует требованиям безопасности [3]), достаточно определить расстояние от источника выброса, начиная с которого выполняется условие отсутствия необходимости введения такой контрмеры, как йодная профилактика, при условии отсутствия эвакуации на границе СЗЗ и за ее пределами. Поскольку при определении размеров зоны наблюдения условие отсутствия эвакуации выполняется автоматически (это общее требование к безопасности энергоблока), то далее речь может быть только о йодной профилактике. Иначе говоря, при определении размеров зоны наблюдения достаточно рассматривать предельный выброс, состоящий только из радионуклидов йода.

Необходимо ли знать величину предельного выброса для определения размеров зоны наблюдения? Если АЭС соответствует требованиям безопасности, то это не обязательно, так как заведомо вероятность выброса, приводящего к эвакуации населения на границе санитарно-защитной зоны, удовлетворяет требованиям [3], а дозовые показатели на различных расстояниях от аварийного энергоблока есть величины, функционально связанные между собой.

Актуальность разработки методического подхода к определению размеров зоны наблюдения АЭС прежде всего определяется задачами, стоящими перед отраслью в связи с продлением сроков эксплуатации работающих энергоблоков и строительством новых. В первом случае продление срока эксплуатации, согласно политике регулирующего органа, возможно только после переоценки безопасности энергоблока, необходимым условием которой является приведение в соответствие энергоблока требованиям действующих

нормативных документов, один из которых — «Вимоги щодо визначення розмірів і меж зони спостереження АЕС». Во втором случае, на основании НП по определению размеров зоны наблюдения, последние должны входить в состав проектной документации на вновь строящиеся блоки.

Рассмотрим в качестве примера методического подхода оценку размеров зоны наблюдения при условии, что граница санитарно-защитной зоны находится на расстоянии 2,5 км от энергоблока.

Условием отсутствия такой неотложной контрмеры, как эвакуация, для какой-либо точки территории будут следующие значения доз облучения населения за две недели по прошествии выброса [4]:

эффективная доза — ниже 50 мЗв;

эквивалентная доза на щитовидную железу детей — менее 300 мГр;

эквивалентная доза на кожу — до 500 мГр.

Доза облучения пропорциональна фактору метеорологического разведения, а сами дозовые коэффициенты — величины постоянные. Поэтому для заданного радионуклидного состава выброса, имеющего одну и ту же скорость сухого осаждения, соотношение между эквивалентной дозой на кожу, эквивалентной дозой на щитовидную железу и эффективной дозой будет величиной постоянной. Если считать, что радионуклиды йода выбрасываются в том соотношении, в котором они находились в активной зоне на момент выброса, то в любой точке пространства, в которой эффективная доза за две недели будет равна 50 мЗв, эквивалентная доза на щитовидную железу и эквивалентная доза на кожу будут равны соответственно 457 мГр и 6 мГр (все расчеты проводились в соответствии с [2, прил. А]). Это означает, что облучение щитовидной железы является главным фактором для принятия решения об эвакуации, а согласно определению предельного выброса — им будет любой выброс, приводящий к дозе облучения щитовидной железы 300 мГр на границе СЗЗ и за ее пределами. При этом минимальный из всех возможных предельных выбросов будет соответствовать максимальному значению фактора метеорологического разведения (в данном примере речь идет о факторе метеорологического разведения, определяемого в соответствии с гауссовой моделью атмосферной диффузии по Паскуилу). Сам фактор метеорологического разведения определяется для каждой категории устойчивости атмосферы и зависит от эффективной высоты выброса, расстояния до точки выброса, скорости ветра и скорости сухого осаждения по формуле (1) [5]:

$$G(x, h, v, v_g) = \exp\left(-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{v_g}{v} \cdot \int_0^x \frac{1}{\sigma_z(\tau)} \cdot \exp\left(-\frac{h^2}{2 \cdot \sigma_z^2(\tau)}\right) \cdot d\tau\right) \times \frac{\exp\left(-\frac{h^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right)}{\pi \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x) \cdot v}, \quad (1)$$

где  $x$  — расстояние до точки выброса, м;  $h$  — эффективная высота выброса, м;  $v$  — скорость ветра, м/с, на высоте 10 м;  $v_g$  — скорость сухого осаждения, м/с;  $\sigma_z(x)$ ,  $\sigma_y(x)$  — зависящие от категории устойчивости атмосферы дисперсии струи выброса соответственно в вертикальном и горизонтальном направлении, м;  $\tau$  — переменная интегрирования.

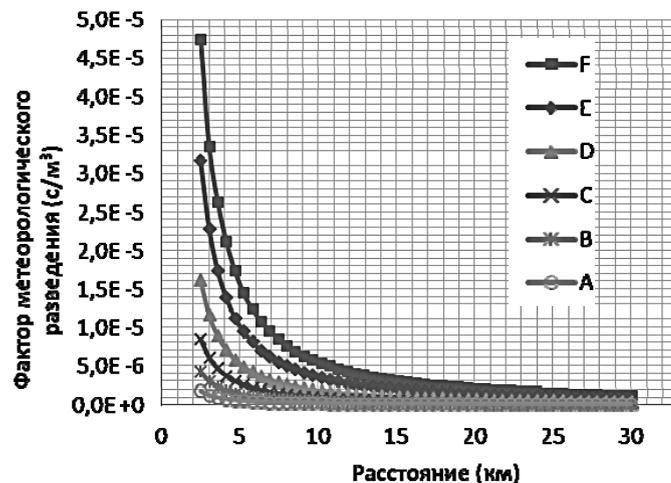


Рис. 2. Зависимость значений огибающих фактора метеорологического разведения от расстояния до источника выброса для различных категорий устойчивости атмосферы

ния. В формуле (1) не учитываются факторы радиоактивного распада и мокрого осаждения радиоактивной примеси.

Некоторые сложности могут возникнуть при определении эффективной высоты выброса, зависящей от типа аварии и пути утечки радиоактивных материалов. Эти трудности можно обойти, введя в рассмотрение новую функцию  $G(x)$ , являющуюся своего рода огибающей функции (1) с точки зрения тяжести радиационных последствий:

$$G(x) = \max_h G(x, h, v, v_g). \quad (2)$$

На рис. 2 приведены графики зависимости от расстояния для различных категорий устойчивости атмосферы функции  $G(x) = \max_h G(x, h, v, v_g)$ .

С точностью до постоянного множителя кривые, изображенные на рис. 2, должны совпадать с кривыми, которые отражают зависимость доз облучения населения от расстояния до точки выброса и построены по величине выброса и значению фактора метеорологического разведения, рассчитанного по формуле (2), т. е. должны быть подобными. Из рис. 2 видно, что максимальный фактор метеорологического разведения (имеется в виду абсолютный максимум) за пределами санитарно-защитной зоны будет достигаться на самой границе санитарно-защитной зоны в случае, если выброс произойдет при F-категории устойчивости атмосферы.

Оценки, проведенные по формуле (1), показывают, что абсолютный максимум фактора метеорологического разведения достигается для эффективной высоты выброса 10 м.

Введем обозначения:  $Q$  — величина аварийного выброса;  $D_Q$  — коэффициент пересчета интегральной призмной концентрации радиоактивных веществ заданного состава в эквивалентную эффективную дозу облучения щитовидной железы;  $D_0$  — двухнедельная эквивалентная доза облучения щитовидной железы, требующая эвакуации населения ( $D_0 = 300$  мГр).

Тогда из условия соответствия АЭС требованиям безопасности для всех категорий устойчивости атмосферы должно выполняться неравенство

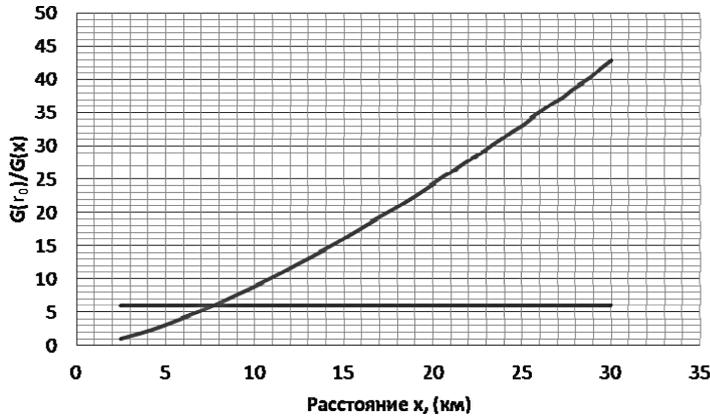


Рис. 3. График зависимости функции  $\frac{G(r_0)}{G(x)}$

$$P \left\{ Q > \frac{D_0}{G(x \geq r_0) \cdot D_Q} \right\} < P_0, \quad (3)$$

где  $P\{a\}$  — вероятность того, что выполняется условие  $a$ ;  $r_0$  — расстояние до границы санитарно-защитной зоны;  $P_0$  — частота предельного выброса.

Это в свою очередь означает, что рассмотрению должны подлежать аварийные выбросы, удовлетворяющие неравенству

$$Q \leq \frac{D_0}{G(x \geq r_0) \cdot D_Q}, \quad (4)$$

или, с учетом поведения функции (2) для различных категорий устойчивости атмосферы (см. рис. 2), для категории F должно выполняться соотношение

$$Q = \frac{D_0}{G(x \geq r_0) \cdot D_Q}. \quad (5)$$

Следовательно, с учетом (3), (4), (5), максимальный аварийный выброс, для которого проводится оценка размеров зоны наблюдения, должен определяться из следующего соотношения параметров атмосферного перемешивания, соответствующих категории устойчивости F:

$$Q = \frac{D_0}{G(x = r_0) \cdot D_Q}. \quad (6)$$

При этом расстояние до границы зоны наблюдения находится из уравнения

$$\frac{D_0 \cdot G(x) \cdot D_Q}{G(x = r_0) \cdot D_Q} = \frac{D_0 \cdot G(x)}{G(x = r_0)} = D_1, \text{ или } \frac{G(r_0)}{G(x)} = \frac{D_0}{D_1} = 6, \quad (7)$$

где  $D_1$  — двухнедельная эквивалентная доза облучения щитовидной железы, требующая проведения йодной профилактики ( $D_1 = 50$  мГр).

На рис. 3 приведено графическое решение уравнения (7). Наклонная кривая на графике отображает поведение функции  $\frac{G(r_0)}{G(x)}$ ; горизонтальная кривая соответствует значению функции, равному 6.

Точное решение уравнения (7) можно получить методом последовательных приближений. С точностью до целого числа, при условии, что радиус санитарно-защитной зоны равен 2,5 км, радиус зоны наблюдения должен составлять 8 км.

## Выводы

Установление размеров зоны наблюдения АЭС в соответствии с требованиями нормативных документов Украины является актуальной задачей, которая на сегодняшний день требует разработки методического подхода к выбору перечня запроектных аварий для проведения расчетов согласно методическим рекомендациям НП 306.2.173–2011 «Вимоги щодо визначення розмірів і меж зони спостереження АЕС».

На основании определения предельного аварийного выброса и аварийных радиационных критериев приведен пример расчета размеров зоны наблюдения, иллюстрирующий общий подход к решению подобных задач.

Показано, что определенные в документе «Основные положения безопасности атомных станций» критерии безопасности по частоте предельного выброса совместно с установленными в НП 306.2.173–2011 радиационными критериями однозначно определяют и размеры санитарно-защитной зоны, и размеры зоны наблюдения, причем эти размеры находятся в функциональной зависимости.

Как следует из приведенных вычислений, для АЭС, имеющих санитарно-защитную зону радиуса 2,5 км (выполняется условие отсутствия эвакуации населения за пределами санитарно-защитной зоны с заданной вероятностью), радиус зоны наблюдения может быть ограничен 8 км.

## Список использованной литературы

1. СП АЭС-79. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций / М-во здравоохранения СССР. — М.: Энергоиздат, 1981.
2. НП 306.2.173–2011. Вимоги щодо визначення розмірів і меж зони спостереження атомної електричної станції. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання України та МОЗ України від 07.11.2011 № 153/766; зареєстр. в М-ві юстиції України 24.11.2011 за № 1343/20081.
3. НП 306.2.141–2008. Загальні положення безпеки атомних станцій. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання 19.11.2007 № 162; зареєстр. в М-ві юстиції України 25.01.2008 за № 56/14747.
4. НРБУ-97. Норми радіаційної безпеки України: Державні гігієнічні нормативи. — Затвердж. постановою Головного санітарного лікаря України від 01.12.1997 № 62. — Введено в дію з 01.01.1998.
5. ПНАЭ Г. Направление 19. Рекомендации по оценке радиационных последствий облучения населения при авариях и преднамеренном разрушении АС / МЗ СССР. — 1988.

Получено 21.04.2013.